

가변 단면 성형 롤의 반경 증가에 의한 롤 간섭 제거

김광희*, 윤문철*, 곽재섭**.#

*부경대학교 기계설계공학과, **부경대학교 기계공학과

Elimination of Roll Interference by Increasing Radius of Variable Section Forming Roll

Kwang-Heui Kim*, Moon-Chul Yoon*, Jae-Seob Kwak**.#

*Department of Mechanical Design Engineering, Pukyong UNIV.,

**Department of Mechanical Engineering, Pukyong UNIV.

(Received 10 December 2021; received in revised form 21 December 2021; accepted 27 December 2021)

ABSTRACT

In this study, we investigated whether the interference occurring in forming roll surfaces could be eliminated by increasing the radius of the variable section forming rolls. The surfaces of the rolls capable of forming products with different flange heights and bend angles with the bend line tilted at an angle of 1° from the longitudinal axis were created using the general CAD software CATIA. Roll interferences were determined for the change in the forming roll radius. The minimum gaps between the upper and lower roll surfaces were measured for the change in the forming roll radius, and the roll interferences were calculated from the difference between the measured value and the thickness of the product. It was observed that the thickness of the product had a slight effect on the roll interference when the thickness was between 0.8 and 1.2 mm. It was also observed that the roll interference could be eliminated by increasing the roll radius.

Keywords : Variable Section Roll Forming(가변 단면 롤 성형), Roll Interference(롤 간섭), Ultra High Strength Steel(초고장력강), Radius of Roll(롤 반경), Bend Angle(굽힘각)

1. 서 론

현재 산업계에서는 기존에 사용 중인 소재보다 더 얇고 강도가 더 높은 초고장력강(ultra high strength steel)과 같은 소재의 활용에 대한 요구가 증가하고 있다^[1-3]. 이러한 소재는 가변 단면 롤 포밍 공정(variable

section roll forming process)을 적용하여 성형하면 더욱 가볍고 안전한 자동차 차체 부품을 매우 경제적으로 생산할 수 있는 장점이 있으나, 성형 롤 사이에 간섭(interference)이 발생하는 문제가 있어 아직 널리 적용되지 못하고 있다.

지금까지 수행된 연구에서는 유한요소 해석을 통한 거나^[4,5] CAD 소프트웨어에서 조립 및 측정 기능을 이용하여 각 단의 상하 성형 롤을 맞물린 상태에서 같은 각도만큼 조금씩 회전시키면서 틈새를 측정하는 방법

Corresponding Author : jskwak@pknu.ac.kr
Tel: +82-51-629-6139, Fax: +82-51-629-6126

[6,7]으로 간섭량을 구하였다.

롤 간섭이 발생하면 제품의 평평한 바닥 부분을 탄성적으로 굽히도록 플라워(flower)를 수정하거나⁴⁾, 성형 롤 중 하나의 굽힘각을 약간 증가시키거나 성형 롤의 접촉 면적을 줄이는 방법 등의 조합^{5,6)}으로 성형 롤을 수정하는 방법을 통하여 롤 간섭 문제를 해결하였으나 시행착오를 통한 반복적 수정이 필요하여 많은 노력과 시간이 소요되는 단점이 있다⁷⁾.

본 연구에서는 성형 롤의 반경을 증가시키면 소체에 발생하는 두께방향 변형률(thickness strain)이 감소하는 연구결과⁸⁾를 이용하여, 롤 반경을 증가시킴으로써 보다 간편하고 신속하게 롤 간섭을 제거할 수 있는지를 평가하고자 하였다.

2. 성형 롤 설계 및 간섭량 계산

가변 단면 성형 롤의 설계는 지금까지 수행되었던 연구^{3,7)}와 같은 방법으로 CATIA를 이용하여 곡면(surface)으로 모델링하여 상하 롤을 조립한 후 두 롤 표면 사이 틈새의 최소값을 측정하여, 롤에서 성형되는 소재의 두께와의 차이로 롤 간섭량을 계산하였다.

3. 가변 단면 제품 및 성형 롤

가변단면 제품의 형상은 Fig. 1과 같으며 두께는 0.8 mm이고 길이 L은 420mm이며 평평한 바닥부분의 폭은 선단에서 100mm이다. 롤 포밍 공정에 사용된 재료는 자동차용 강판으로 적합한 초고장력강 SPFC 1180으로 선정하였고, Table 1에 대표적인 기계적 성질들을 나타내었다. 또한 SPFC 1180의 화학적 조성은 Table 2와 같다.

본 연구의 경우에는 롤 간섭이 제품의 플랜지(flange) 부분에서만 발생함이 확인되었으며 따라서 굽힘 반경(bend radius) R의 크기는 간섭량에 영향을 미치지 않으므로 굽힘각(bend angle) θ 가 90°일 때 5mm로 정하였고 굽힘허용부(bend allowance)가 일정하게 유지되도록 굽힘각과 반비례하면서 변화하도록 하였다.

제품의 평평한 바닥부분에 형성되는 굽힘선(bend line)과 길이방향 축 사이의 각 α 는 1°로 선택하였다.

이 제품은 좌우 대칭 형상이며 양쪽 플랜지의 높이 H가 각각 25, 50, 100mm 일 경우, 굽힘각 θ 가 5°부터 90°사이에서 1°간격으로 변화된 값을 가지는 각각의 형상에 대하여 Fig. 2와 같이 성형 롤의 표면을 곡면으로 생성하였다⁶⁾. 위쪽 성형 롤의 반경 R_u 와 아래쪽 성형 롤의 반경 R_L 은 각각 성형 롤의 회전축(axis)으로부터 플랜지의 중간 높이까지의 거리로 정의하였다.

Fig. 1과 같이 제품의 굽힘선과 길이방향 축 사이의 각 α 가 1°로 비교적 작은 값으로 일정한 비교적 단순한 형상일 경우, Fig. 2와 같이 상하 성형 롤을 맞물려 서로 반대방향으로 동일한 각만큼 회전시키면 모든 위치에서 간섭량이 동일할 것으로 예상할 수 있으며, 이는 직접 측정을 통하여 확인할 수 있었다.

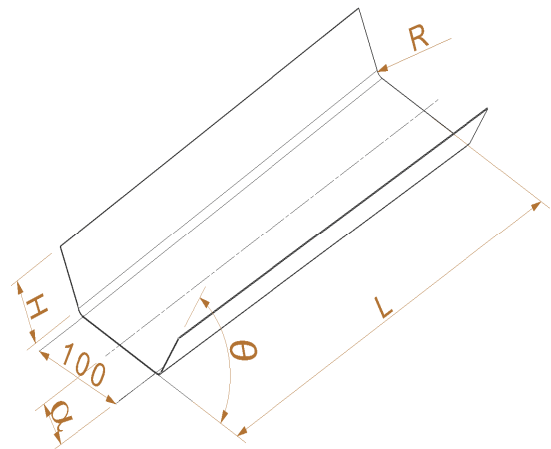


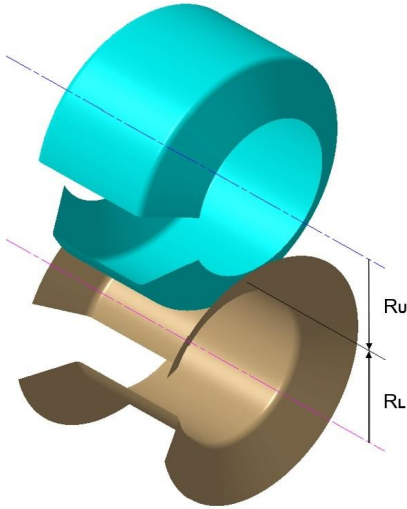
Fig. 1 Product with variable section

Table 1 Mechanical properties of SPFC 1180

Item	Value
Yong's modulus (GPa)	207
Yield stress (MPa)	851
Ultimate tensile stress (MPa)	1321
Elongation (%)	5.5

Table 2 Chemical composition of SPFC 1180 (wt. %)

C	Mn	P	Si	Cr	Al
0.17	2.20	0.04	0.80	0.50	1.20

**Fig. 2 Surfaces of forming rolls**

4. 롤 간섭량에 대한 소재 두께의 영향

Fig. 3(a)에서는 소재의 두께가 0.8mm이고 플랜지의 높이가 50mm, 굽힘각이 60°일 때, 상하 성형 롤의 반경(R_u , R_L)이 각각 70mm부터 260mm 사이에서 10mm씩 변화된 값을 가질 경우 상하 성형 롤 표면 사이의 간섭량을 측정하여 분포도로 보여주고 있다.

Fig. 3(a)에서 주어진 각각의 위쪽 롤 또는 아래쪽 롤의 반경에 대하여 맞물리는 롤과의 반경 차이가 줄어들면 롤 간섭량이 작아지며, 상하 롤의 반경이 같은 크기를 가지면서 증가하면 간섭량이 감소함을 알 수 있다.

나머지 조건은 Fig. 3(a)와 동일하지만, 소재의 두께가 각각 1.0mm, 1.2mm로 증가되었을 때 롤 간섭량을 각각 Fig. 3(b)와 Fig. 3(c)에 나타내었다.

Fig. 3의 (a), (b), (c) 세 개의 그림은 거의 차이가 없음을 알 수 있으며, 따라서 소재의 두께가 0.8mm부

터 1.2mm 사이의 값을 가질 경우 소재의 두께는 롤 간섭량에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

5. 롤 간섭량에 대한 롤 반경의 영향

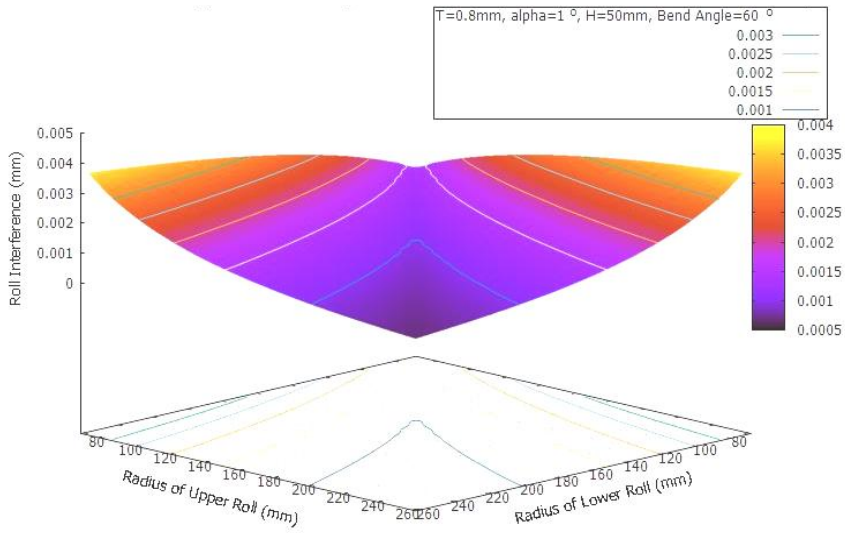
Fig. 4에서는 소재의 두께가 0.8mm이고 양쪽 플랜지의 높이 H가 각각 25, 50, 100mm일 경우, 굽힘각 θ 가 5°부터 90°사이에서 1°간격으로 변화된 값을 가지는 각각의 형상에 대하여, 상하 롤의 반경이 같은 크기로 70mm부터 500mm까지 10mm 간격으로 변화할 때 롤 간섭량의 변화를 나타내었다.

롤 간섭량을 예를 들어 0.001mm 이하로 유지할 필요가 있을 경우, Fig. 4(a)에서 플랜지의 높이 H가 25mm로 작을 경우에는 상하 롤의 반경을 70mm로 선택하면 굽힘각을 69°정도까지 굽힐 수 있으나, 롤의 반경을 500mm로 증가시킴으로써 굽힘각을 84°정도까지 증가시킬 수 있음을 보여주고 있다.

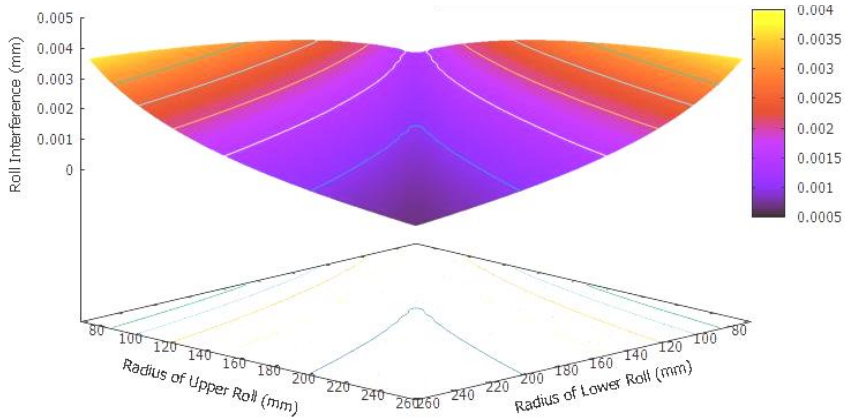
플랜지의 높이 H가 50mm로 2배 증가할 경우, 롤 간섭량을 0.001mm 이하로 유지하려면 Fig. 4(b)에서와 같이 상하 롤의 반경을 70mm로 선택하면 굽힘각을 56°까지 굽힐 수 있으나, 롤의 반경을 500mm로 증가시킴으로써 굽힘각을 73°정도까지 증가시킬 수 있음을 보여주고 있다.

Fig. 4(c)에서는 플랜지의 높이 H가 100mm로 다시 2배 증가할 경우, 상하 롤의 반경을 100mm로 선택하면 굽힘각을 46°정도까지 굽힐 수 있으나, 롤의 반경을 500mm로 증가시킴으로써 굽힘각을 55°정도까지 증가시킬 수 있음을 보여주고 있다.

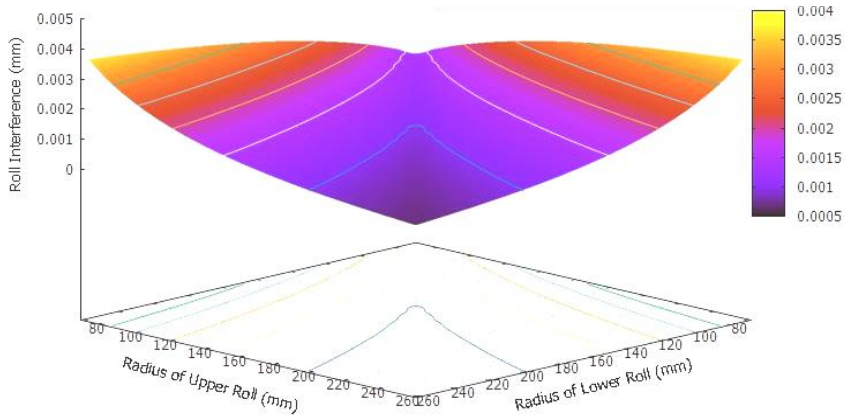
Fig. 5는 굽힘각을 80°로 선택하고, 플랜지의 높이를 각각 25, 50, 100mm로 하고 롤의 반경을 각각 100, 300, 500mm로 변화시킬 때 롤 간섭량을 나타낸 것이다. 그 결과를 살펴보면, 동일한 롤 반경에서는 플랜지의 높이가 증가할수록 롤 간섭량도 증가함을 알 수 있다. 또한 앞서 설명한 것과 같이 롤의 반경이 증가할수록 롤 간섭량이 감소하는 것을 알 수 있고, 특히 롤의 반경이 500mm인 경우는 고려된 플랜지의 높이가 100mm인 경우를 제외하고는 롤 간섭량이 0.001mm 이하로 유지될 수 있어 매우 유용한 것으로 나타났다.



(a) Thickness 0.8mm



(b) Thickness 1.0mm



(c) Thickness 1.2mm

Fig. 3 Roll interference at various radii of upper and lower rolls($\alpha=1^\circ$, H = 50mm, $\theta=60^\circ$)

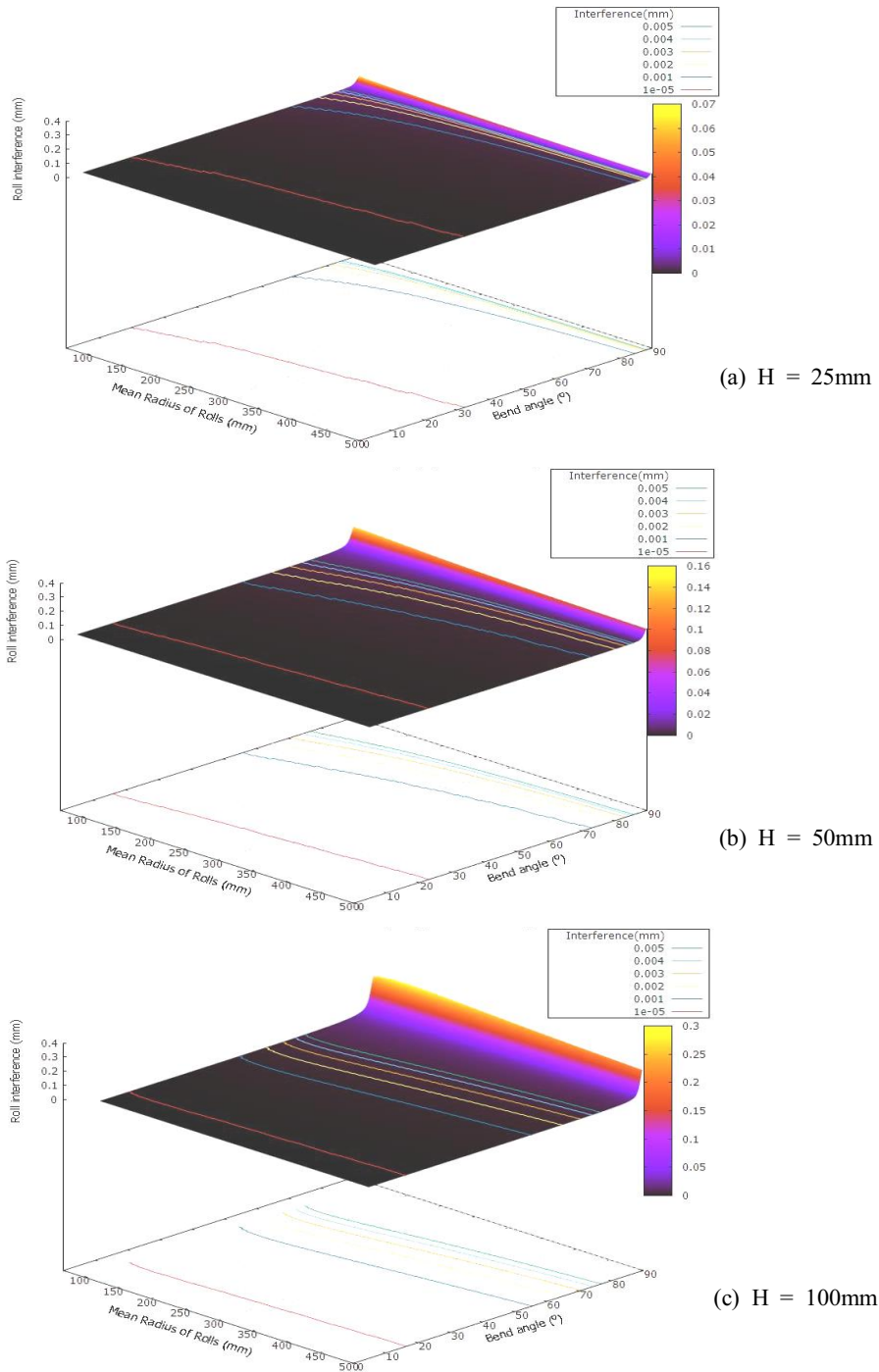


Fig. 4 Roll interference at various roll radii and bend angles($\alpha = 1^\circ$)

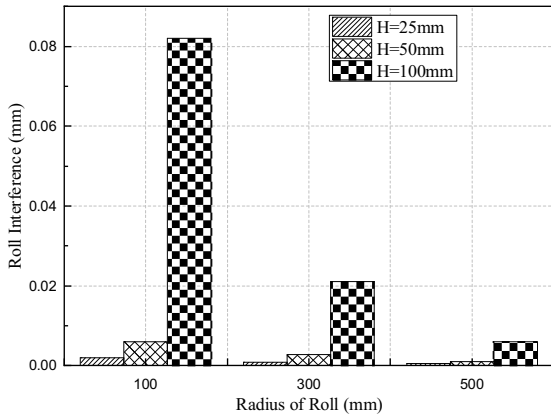


Fig. 5 Comparison of roll interference for radius of roll (Bend angle: 80°)

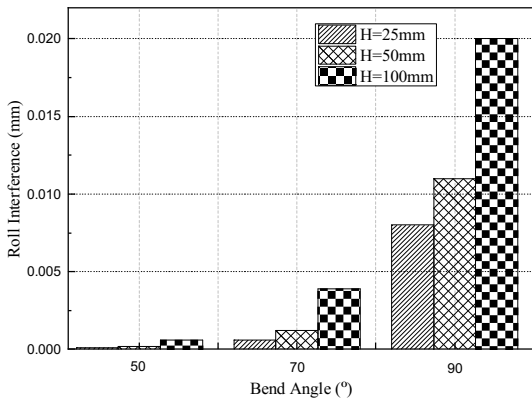


Fig. 6 Comparison of roll interference for bend angle (Radius of roll : 350mm)

롤의 직경을 500mm 보다 작은 350mm로 선택하고, 제품의 플랜지 높이와 굽힘각을 변화시킬 때 롤의 간섭량을 Fig 6에 나타내었다. 그 결과 굽힘각이 커질수록 롤의 간섭량이 크게 증가하는 것을 알 수 있고, 굽힘각과 플랜지의 높이가 커지면 실용적으로 롤의 간섭량을 0.001mm 이하로 유지하는 것이 매우 어렵다는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 롤 반경을 증가시킴으로써 롤 간섭 제거가 가능함을 확인할 수 있으나 플랜지 높이가 100mm 이상 되면 그 효과가 줄어드는 경향이 있음을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 플랜지 높이와 굽힘각을 갖는 굽힘선이 길이방향 축으로부터 1° 기울어진 제품을 가변 단면을 포밍할 수 있는 성형 공정에서 롤 반경을 변경하면서 설계하여 각각의 롤 간섭량을 구하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 소재의 두께는 0.8mm부터 1.2mm 사이의 값을 가질 경우 롤 간섭량에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.
2. 성형 롤 반경을 증가시킴으로써 롤 간섭량을 줄이는 것이 가능함을 확인하였다.

향후 추가 연구를 통하여 다양한 굽힘선과 길이방향 축 사이의 각(α)을 갖는 제품에 대한 Fig 4와 유사한 롤 간섭량을 분포도를 갖추게 되면 더욱 간편하고 신속하게 성형 롤을 설계할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

후 기

“이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Mehari, Z. A., Han, J., Peng, X. and Wang, Y., “Analysis of Stress-strain in the Partial Heating Roll Forming Process of High Strength Hollow Steel Sections,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 115, No. 1-2, pp. 563-579, 2021.
2. Zhang, W., Zhao, G. and Fu, Q., “Optimization of Roll Forming Process for High-Strength V Channel Steels,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 105, No. 5-6, pp. 2469-2480, 2019.
3. Zhang, Y. and Jung, D., “Study on Roll Forming Bending in Different Temperature,” International Journal of Materials Science and Applications, Vol. 5, No. 3, pp. 129-135, 2016.
4. Kim, K. H. and Yoon, M. C., “Development of a

- Roll-Forming Process of Linearly Variable Symmetric Hat-Type Cross-Section,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 118-125, 2015.
5. Kim, K. H. and Yoon, M. C., “Design of Forming Rolls for Parts with a Symmetric U-type Cross-section that Varies Linearly and Symmetrically in the Longitudinal Direction,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 73-82, 2016.
 6. Kim, K. H and Shim, H. B., “Design of Forming Rolls for a High Strength Steel Automotive Body Part with Locally Variable Cross-Section,” International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 19, No. 1, pp. 97-102, 2018.
 7. Ghiabakloo, H., Park, J. W., Kil, M. G., Lee, K. H. and Kang, B. S., “Design of the Flexibly-reconfigurable Roll Forming Process by a Progressively-improving Goal Seeking Approach,” International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 157-158, pp. 136-149, 2019.
 8. Hong, S., Lee, S., and Kim, N., “A Parametric Study on Forming Length in Roll Forming,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 113, No. 1-3, pp. 774-778, 2001.